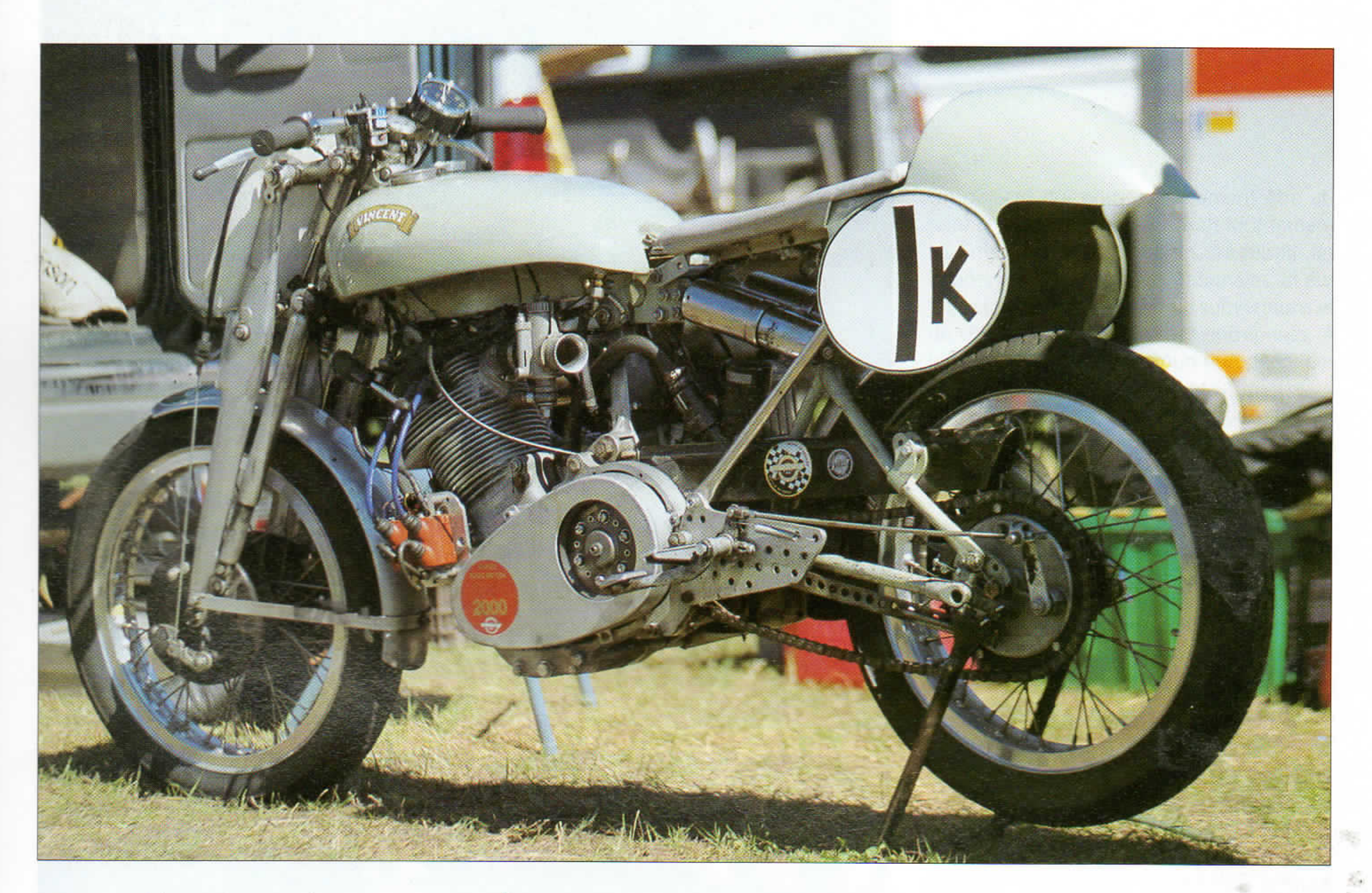
LA DÉMULTIPLICATION

Je tire un peu court, tu tires trop long, il tire tout droit... La démultiplication fait partie de ce jargon apparemment incompréhensible aux non-initiés : démystifiez ce jargon !

Par Eduardo Regge



Cette 500 Vincent Grey Flash utilise de très longs rapports pour Daytona.

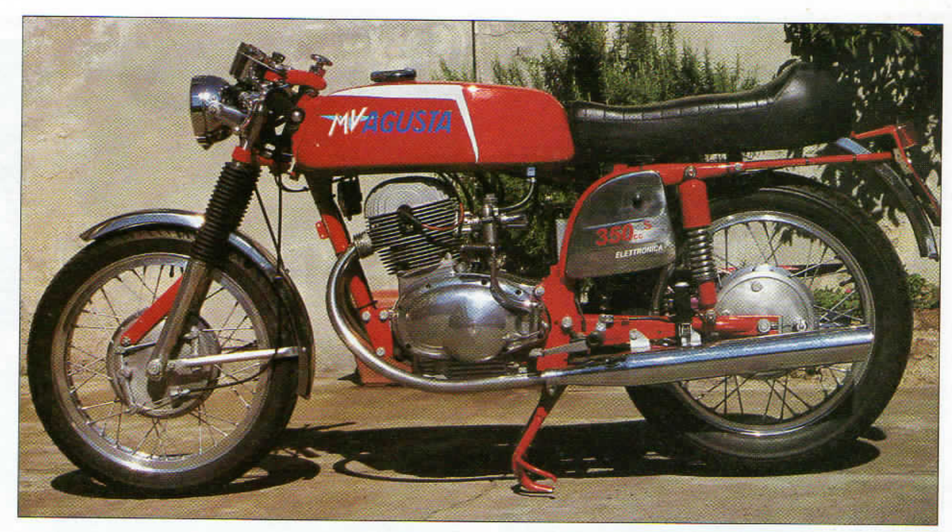
Les articles techniques des revues motocyclistes devraient être de la vulgarisation scientifique à la portée du plus grand nombre. Mais, il s'agit souvent de véritables "pavés", alourdis par des démonstrations sous forme de diagrammes, sans oublier les cosinus, logarithmes et autres. Dans 95 % des cas, ils ne présentent pas même d'exemples pratiques. Même les lecteurs les plus expérimentés finissent par les "sauter" la plupart du temps à pieds joints.
Dans cet article, nous abordons la démultiplication entre le moteur et la roue, un élément fondamental que tout motard est censé maîtriser. Allez, un peu de technique simple et claire.

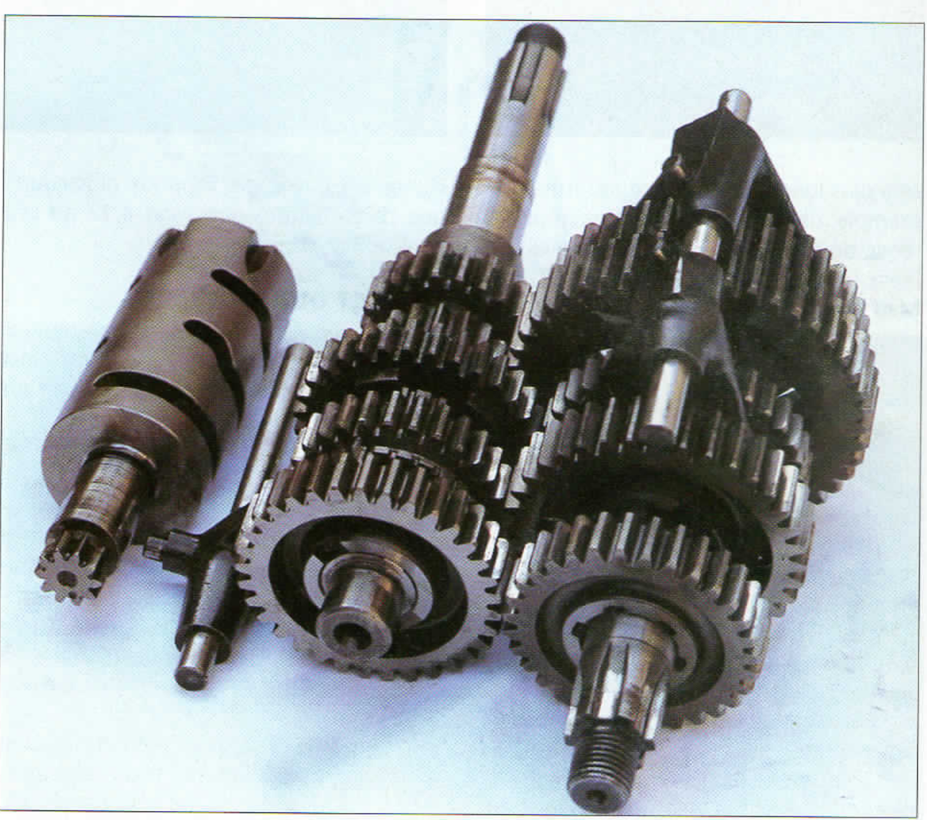
DÉFINITION

Le rapport de démultiplication moteur-roue est également appelé "rapport total de transmission". S'il concerne le rapport le plus long de la boîte de vitesses, il s'agit du nombre de tours du vilebrequin nécessaires pour que la roue motrice tourne une seule fois. Plus le chiffre est grand, plus le rapport est "court".
Par exemple, si on dit que la 350 MV Agusta Sport de 1971 a un rapport total de transmission de 5,991, cela signifie qu'en 5e vitesse, la roue arrière accomplit une révolution tous les 5,991 tours du vilebrequin. Puisque la circonférence de la roue motrice est de 1 995 mm, tous les 5,991 tours de moteur en 5e, la MV parcourt 1,995 mètres.

Par conséquent, on peut conclure que le rapport de transmission et le développement de la roue motrice sont interdépendants.
D'autre part, si on monte un autre pneumatique sur la MV, et qu'en le mesurant on constate qu'il a un développement légèrement supérieur, soit 2 040 mm, pour tout ramener aux conditions d'origine il faudrait

En haut, la 350 bicylindre MV Agusta Sport utilise un rapport total de 5,991, modérément long, développant environ 2 km/h tous les 100 tr/mn en 5e. Au centre, le cinquième rapport de la MV Agusta 350 S intervient pour définir le rapport total en multipliant par 0,93939.





raccourcir le rapport, étant donné que le développement de la roue est augmenté.

PRÉCISIONS

Certes, la différence est faible, mais si l'on veut être précis, il faut augmenter le nombre de dents sur la couronne de la roue motrice, qui en compte à l'origine 41.

Ecartons tout de suite l'idée de changer de pignon de sortie de boîte : celui-ci possède 15 dents et si l'on en enlève même qu'une seule, la variation en pourcentage serait excessive.

Calculons donc combien de dents devrait avoir la nouvelle couronne : la différence de circonférence du pneumatique est de 45 mm (2 040 - 1 995 d'origine), soit 2,04 %. Par conséquent, il est logique d'augmenter du même pourcentage les dents de la couronne, soit 41,836 (2,04 % des 41 d'origine).

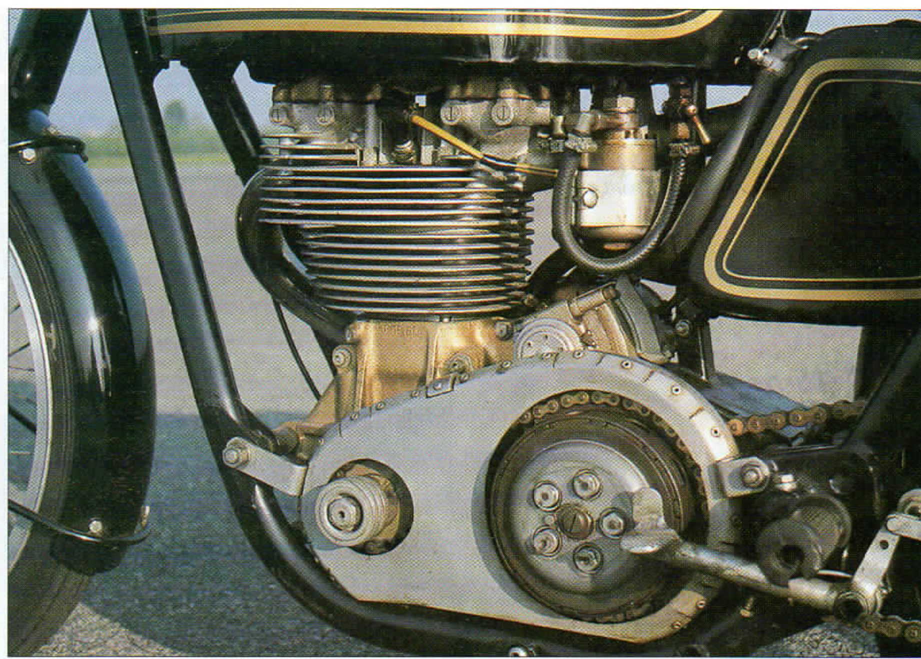
Etant donné qu'il n'existe pas de couronne de 41,8 dents, elle devra donc avoir 42 dents, étant la valeur la plus proche. On peut donc conclure qu'en pratique, le rapport total de transmission peut s'énoncer accompagné de la valeur de développement de la roue motrice.

RAPPORTS LONG ET COURT

En théorie, plus une moto est puissante, et plus son rapport est long. Autrement dit, le moteur peut entraîner un tour de roue en faisant lui-même moins de tours. Mais la réalité est plus complexe.

La démultiplication totale est établie par le constructeur qui prend en compte d'autres éléments : l'utilisation de la moto n'est pas la même s'il s'agit d'une moto de course ou de tourisme, ou vouée à avoir un passager, ou à être équipée de sacoches et de bagages. Pour une moto de course, le rapport total





sera plus long que pour une tourisme. Par exemple, une supersport quatre-temps carénée de 1 000 cm³ à quatre-cylindres utilisera un rapport total d'environ 4,7 à 1. Mais la même moto sans carénage, en version grand tourisme, avec bagages, aura un rapport plus court, proche de 5 à 1.

MAXI ET MINI

Quelles sont les limites maximales et minimales du rapport ? En général, un cyclomoteur à grandes roues a un rapport très court, environ 12-15 à 1, contre 4,7 à 1 ou plus pour une sportive de 1 000 cm³.

N'oublions pas que le rapport total de transmission est inséparable du développement de la roue motrice. Ainsi, sur un scooter à petites roues — par simplicité, on va supposer une petite roue qui développe seulement 65 % d'une grande roue —, sa valeur numérique exprimera un rapport plus long pour le même pourcentage. Par conséquent, si pour un engin à grandes roues, le rapport est de 12 à 1, pour le scooter à petites roues, il sera d'environ 8 à 1. Avec le même régime moteur, nos deux engins parcourront une distance à peu près égale.

D'une manière générale, moins il y a de cylindres et plus le rapport est long, à cylindrée égale. Ainsi, un monocylindre sportif de 500 cm³, avec des roues de 18", utilisera un rapport total proche de 5 à 1. Un bicylindre de 500 cm³ aura un rapport plus court, soit environ 6 à 1, et pour une 500 quatre-cylindres, il sera encore plus court, environ 7,5 à 1.

Dans certains cas, un même modèle peut avoir des rapports différents. En effet, pour la Z 900, Kawasaki envoya en Italie des exemplaires avec des rapports plus courts que dans d'autres pays, soit 4,92 au lieu de 4,639.

DEUX ET QUATRE-TEMPS

D'autre part, à cylindrée égale, un moteur de deux-temps est plus puissant que celui d'un quatre-temps, il peut donc utiliser un rapport total plus long.

Amusons-nous à comparer trois modèles de 750 cm³ de la même époque : la bicylindre Laverda SF (quatre-temps), la quatre-cylindres Honda CB (quatre-temps) et la trois-cylindres Kawasaki Mach IV (deux-temps). Tous trois sont dotés d'une résistance aérodynamique et de masses à peu près égales, tandis que le pneumatique arrière a le même développement, environ 2 030 mm.

Les rapports totaux de démultiplication moteur-roue sont les suivants : Laverda : 4,631 à 1 ; Honda : 5,263 à 1 ; Kawasaki : 4,75875 à 1. La Honda a un rapport plus court à cause de son fractionnement.

A 170 km/h, le moteur tourne à 7 310 tr/mn, tandis que la Laverda à 6 430, et la Kawasaki à 6 610 tr/mn.

En théorie, le cycle du deux-temps de la Kawa a un rapport plus long que celui de la Laverda. Mais ses trois-cylindres, contre les deux de la Laverda, ramènent la démultiplication à des valeurs similaires, l'italienne étant environ 2,7 % plus "longue" que la japonaise. S'il existait un bicylindre deux-temps sportif de 750 cm³, son rapport serait bien plus long, proche de 4-4,2 à 1.

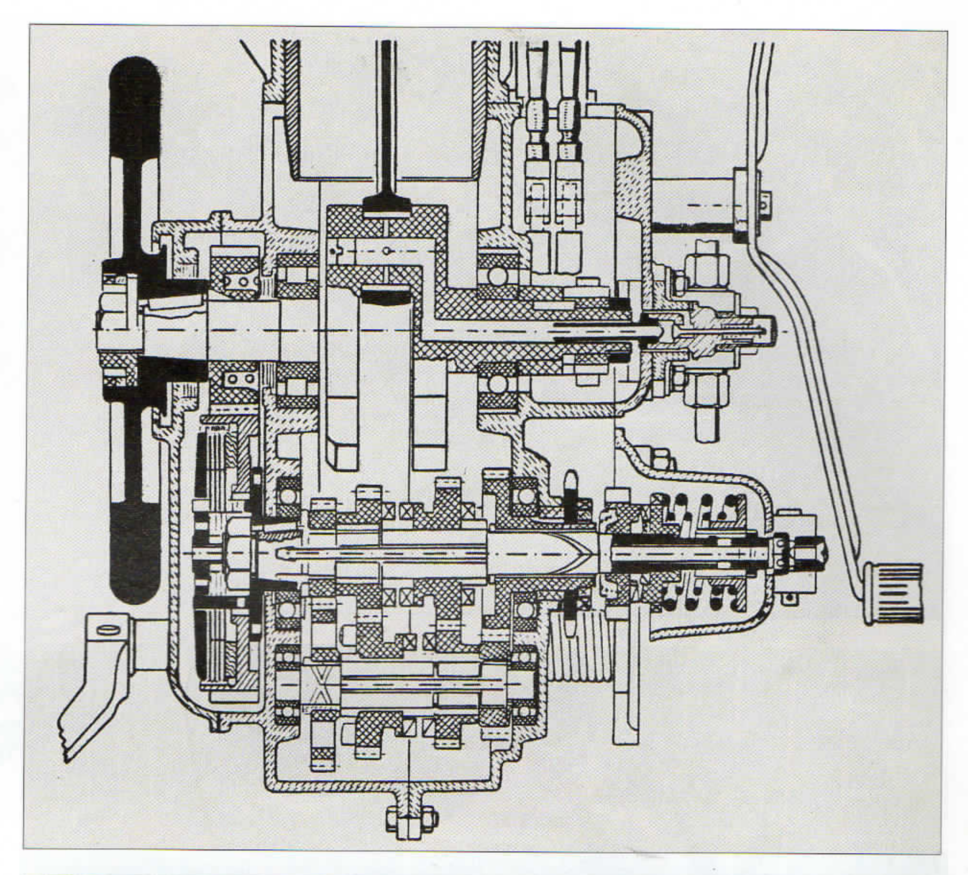
DE LA BICYCLETTE À LA TORPILLE

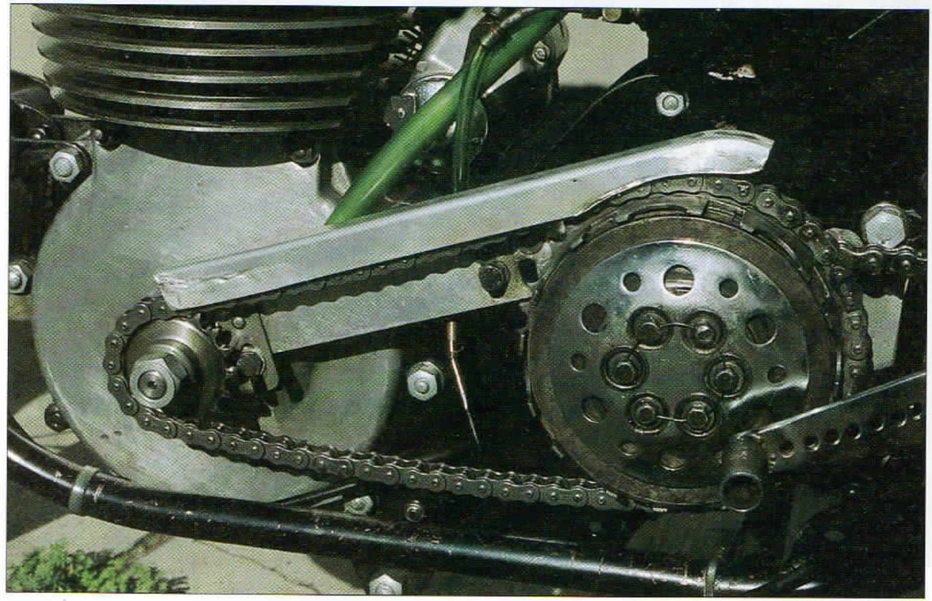
Sur les bicyclettes, un cycliste développe à peine une puissance de 0,1 ch, mais réussit à multiplier les tours de pédales par rapport à la roue arrière, en lui faisant parcourir au moins deux tours et demi à chaque coup de pédale. Par contre, aucune moto ne peut le réaliser : la roue tournera toujours plus lentement que le moteur.

L'un des rapports les plus longs de l'histoire de la moto fut celui de la 500 Guzzi Dondolino "Faenza". Le vilebrequin de son monocylindre fait 3,8 tours pour un tour de roue ! Cas encore plus extrême avec les "torpilles" de record sur le Lac Salé de Bonneville. La plus rapide était équipée de deux

Ci-dessus à gauche, la 750 Kawasaki Mach IV utilise un rapport de 10,6 % plus long que la 750 Honda Four, parce qu'elle dispose de 25 % de puissance en plus, de 25 % en moins en nombre de cylindres.
Par contre, la même moto, bien qu'ayant 50 % en plus de chevaux à la roue par rapport à la 750 Laverda SF, utilise un rapport de 2,7 % plus court, suite aux 50 % en plus du nombre de cylindres.
Ci-dessus à droite, la transmission primaire à chaîne d'une 350 AJS 7R.

En haut, coupe d'un monocylindre Guzzi horizontal, à quatre vitesses, avec la 4e en prise directe.
Au centre, la transmission primaire de la 500 Pugliese, clairement inspirée de la Norton Manx.





moteurs à pistons de Kawasaki quatre-cylindres pour une cylindrée de 2 032 cm³ : en 1978, elle atteint 512,7 km/h. Ce bolide avait certes un rapport de transmission extrêmement long, mais qui était cependant toujours démultiplié.

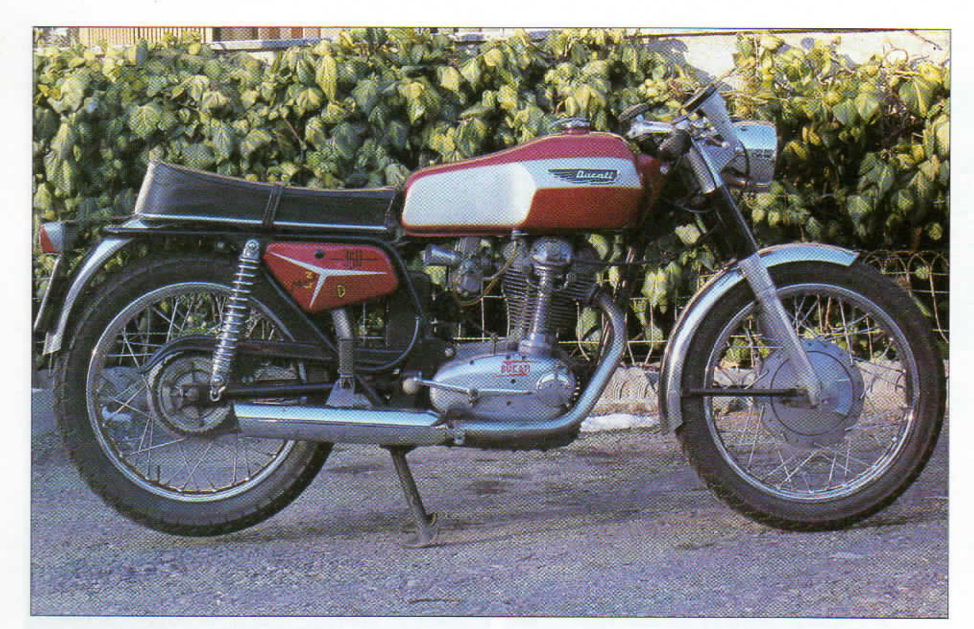
La puissance se dissipe presque entièrement avec le frottement de l'air, et les torpilles de record ont une surface d'impact très réduite et un CX extrêmement favorable. En supposant qu'elles aient des petites roues développant 1 300 mm, on peut déduire que les 11 000 tours du moteur sont réduits de 1,67 fois en arrivant à la roue.

RÉDUCTIONS

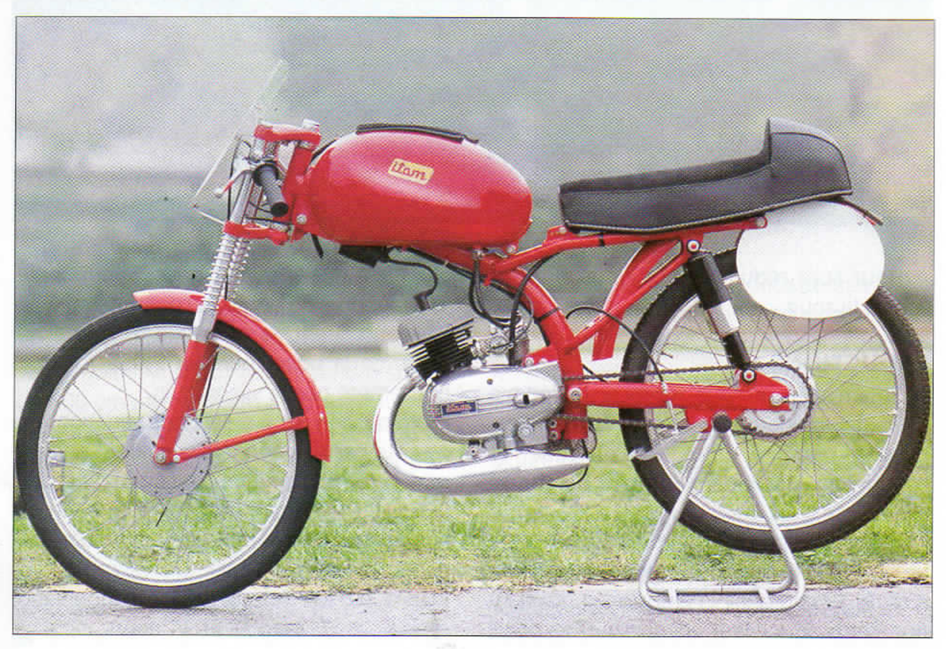
Pour arriver à la roue motrice, le régime moteur subit deux réductions : par la transmission primaire entre le vilebrequin et l'embrayage, puis dans la boîte de vitesse elle-même.

La réduction "primaire" entre le moteur et la boîte s'obtient entre le pignon du vilebrequin et la couronne d'embrayage, sachant que cette dernière a un nombre de dents plus élevé que celui du pignon. Par exemple, si le pignon a 35 dents, la couronne en a 72. Par conséquent, la couronne et l'arbre primaire de la boîte tournent 2,057 fois plus doucement que le vilebrequin.

En ce qui concerne la seconde variation, elle n'existe pas si la dernière vitesse est en "prise directe", c'est-à-dire avec un rapport de 1 à 1. Dans le dernier rapport de la boîte, les engrenages utilisent un nombre différent de dents, même très léger. Un exemple ? Eh bien la 350 MV Agusta Sport mentionnée ci-dessus : en 5e avec 33 et 31 dents.







En haut, la 350 Ducati Desmo en 5ᵉ développe environ 1,91 km/h tous les 100 tr/mn. Il s'agit d'un rapport assez court, en accord avec son moteur "léger". Au centre, la 250 Aermacchi Ala Verde utilise un rapport "long", soit 2,069 km/h tous les 100 tr/mn. En bas, une Itom de 50 cm³. Petits ou gros, les moteurs de deux-temps, à égalité de fractionnement, utilisent des rapports plus longs que les quatre-temps, même si on est souvent persuadé du contraire, trompés par le nombre d'explosions.

La réduction "finale" s'effectue par la transmission finale. En fait, c'est la seule que le pilote peut modifier, à moins d'intervenir sur la boîte ou la transmission primaire, comme pour les motos de course. Le pignon a toujours un nombre peu important de dents : de 12 sur les petites cylindrées jusqu'à 20 pour certaines motos anglaises.

La couronne peut beaucoup varier : sur des grosses cylindrées, on peut utiliser 35-38 dents, tandis que sur des motos tout-terrain, ce nombre est bien plus élevé. Toutefois, les pignons et couronnes de grandes

Ci-dessus, vue éclatée du moteur de la 500 Guzzi V8. Plus le fractionnement de la cylindrée est important, plus le rapport de transmission est court.
Ci-contre, petit pignon et grande couronne pour les rapports courts d'un "tout-terrain".



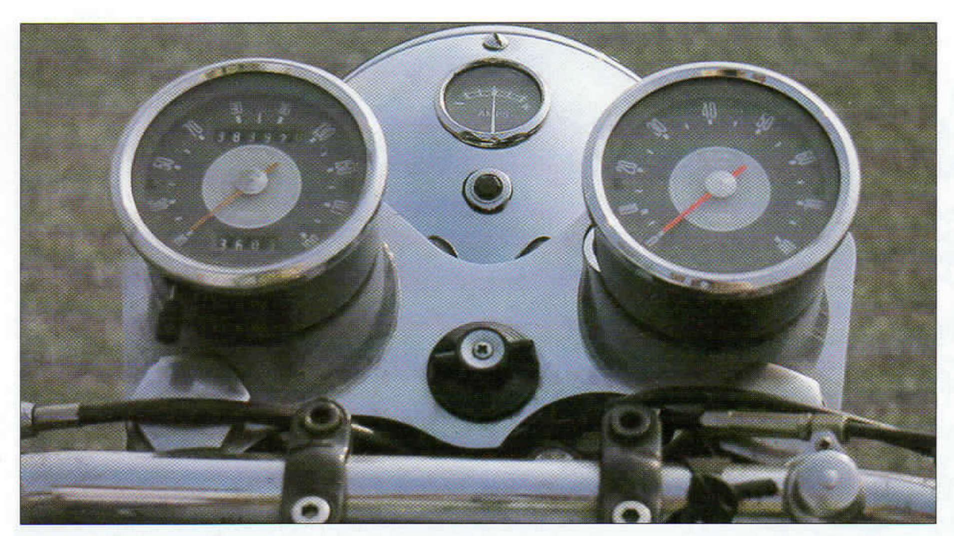
dimensions améliorent la longévité et le rendement mécanique de la transmission.
On peut conclure que le rapport total de démultiplication n'est rien d'autre que le produit arithmétique de la réduction primaire par la réduction finale, et éventuellement par la "variation" opérée par la boîte dans la dernière vitesse.

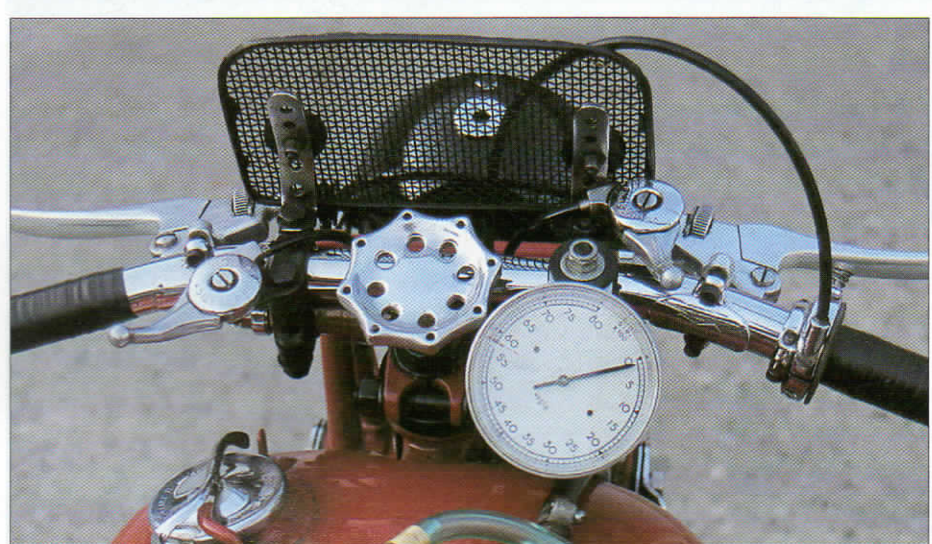
COUPLE MOTEUR

Finalement, la puissance arrive à la roue. Le "couple moteur" y arrive multiplié dans la mesure exacte de ce rapport. Par exemple, si un moteur a un couple de 8 kgm et un rapport total de réduction de 5 à 1, il "enverra" dans le dernier rapport un couple de 40 kgm (car 8 x 5) à la roue.
En supposant que la roue ait un rayon de 0,3 mètre, la force de traction disponible à la périphérie sera de 133 kg (40 kgm : 0,3 m).
Pour les vitesses inférieures, le couple et la force seront multipliés par le rapport total de chaque vitesse. Si en première, le rapport est de 12,5 à 1, le couple à la roue sera de 100 kgm (car 8 x 12,5), tandis que la force périphérique sera de 333 kg (100 kgm : 0,3 mètre).

RÉDUCTION PRIMAIRE

Comment est réalisée la réduction primaire ? Entre le vilebrequin et l'embrayage, des chaînes de différents types sont utilisées. Elles permettent une certaine "souplesse" de la transmission, mais requièrent un certain entretien. Sur les petites motos, la chaîne est simple, et devient double ou triple sur les grosses. Sur les motos de course, telles que Norton ou Matchless, on peut changer le pignon primaire pour avoir une variation finale affûtée des rapports totaux. Avec seulement quatre vitesses et quelques chevaux, les calculs du rapport total de





Les calculs de vitesses effectués avec les rapports et les compte-tours sont toujours optimistes. Ces erreurs sont souvent dues aux instruments : plus importantes avec des instruments magnétoélectriques, et moindres avec des instruments mécaniques. La différence peut varier de 1 à 20 %. En haut, une 750 Norton Atlas avec des instruments magnétoélectriques. Au centre, une 500 Guzzi Dondolino équipée d'instruments mécaniques. En bas, une Triumph préparée pour le dirt-track, avec démultiplication raccourcie par une grosse couronne arrière.



Le poids, la puissance, ainsi que le "fractionnement" de la Honda CBX de 1 047 cm³ sollicitent beaucoup la chaîne finale. Ici, deux "six-cylindres".

chaque rapport sont particulièrement fondamentaux pour obtenir des résultats, surtout sur les circuits tortueux. On utilise le plus souvent un couple d'engrenages à taille hélicoïdale. Avec une taille droite, on annule la poussée axiale sur le banc, qui absorbe moins de puissance, mais "siffle" un peu plus.

Plus la démultiplication est importante, plus la boîte tourne doucement. Cela facilite les enclenchements, par contre elle est sollicitée par des couples plus importants.

RÉDUCTION PAR LA BOÎTE DE VITESSES

Voyons comment on démultiplie le régime moteur dans les rapports inférieurs en prenant comme cas concret, le boîte à quatre vitesses de la 250 Aermacchi Ala Verde des années 60, avec 4ᵉ en prise directe (1 à 1). Egalement vendue avec une boîte à cinq vitesses, les rapports restent identiques, et dans les deux versions, le déroulement est le même.

En comptant les dents des différents engrenages ou en lisant le manuel d'instructions, les réductions sont les suivantes : 1ʳᵉ : 2,912 ; 2ᵉ : 1,761 ; 3ᵉ : 1,278 ; 4ᵉ : 1. La 1ʳᵉ réduit d'emblée les tours entre le moteur et l'embrayage dans un rapport de 26/65, soit 1 à 2,5.

D'autre part, l'arbre secondaire de la boîte avec pignon de chaîne tourne en fonction du vilebrequin, qui est divisé par 2,5 puis par 2,912. Donc, à 6 500 tr/mn, il tournera à 893 tr/mn. Pour les autres rapports, le schéma reste le même : 2ᵉ : 1 476 tr/mn ; 3ᵉ : 2 034 ; 4ᵉ : 2 600.

RÉDUCTION FINALE

Toujours avec la 250 Aermacchi. Sa chaîne finale est dotée d'un pignon de 18 dents et une couronne de 38 dents. A la roue, les tours arriveront réduits de ce rapport final, soit de 2,111 (38 : 18).

Mêmes calculs que ci-dessus : en 1ʳᵉ, les tours/minute de la roue seront au nombre de 423 (893 : 2,111) ; en 2ᵉ de 699 ; en 3ᵉ de 963 ; en 4ᵉ de 1 232.

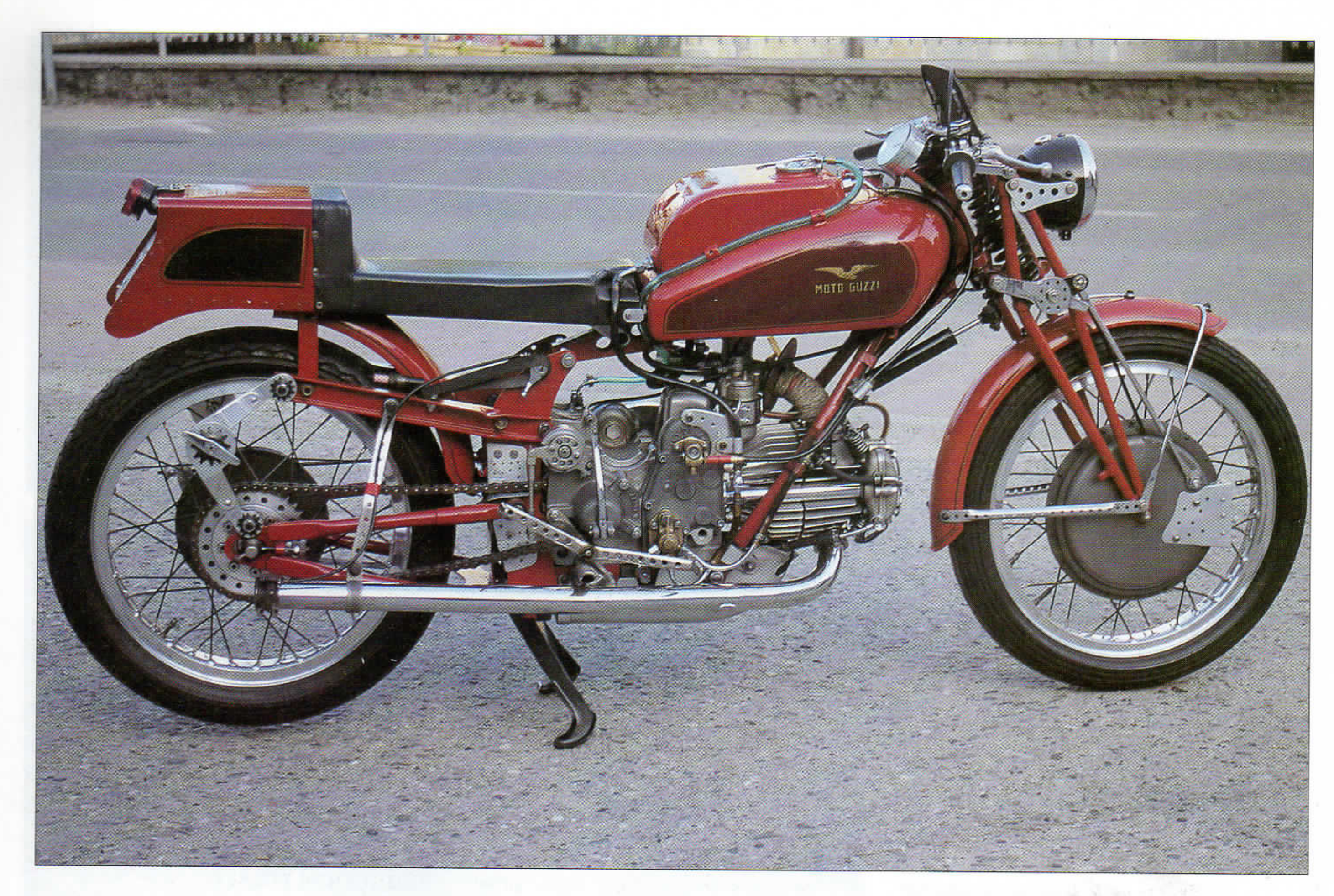
Maintenant, il faut calculer les vitesses dans les différents rapports, toujours à 6 500 tr/mn. Le développement de la roue est de 1 820 mm, soit 1,82 m ou 0,00182 km. En multipliant cette valeur par les tours de roue et par 60 (pour 60 mn), on obtient les vitesses horaires des quatre rapports :

en 1ʳᵉ : 46,19 km/h (0,00182 x 423 x 60) ;
en 2ᵉ : 76,33 km/h (0,00182 x 699 x 60) ;
en 3ᵉ : 105,16 km/h (0,00182 x 963 x 60) ;
en 4ᵉ : 134,53 km/h (0,00182 x 1 232 x 60).

VITESSES INTERMÉDIAIRES

Les vitesses intermédiaires sont d'autant plus espacées que leur nombre est moindre. La réduction entre le premier et le dernier rapport varie beaucoup, elle devient plus importante — plus de 3 à 1 — avec des motos "tranquilles" ou moindre — moins de 2 à 1 — avec des motos de course.

La 650 Benelli Tornado de 1973, plutôt



La 500 Guzzi Dondolino utilise un des rapports totaux les plus longs de toute l'histoire motocycliste. En effet, il développe, en 4ᵉ, 3,10 km/h tous les 100 tr/mn en version standard, et 3,28 pour la version Faenza.

sportive, avait une première parmi les plus courtes de l'époque : réduite de 3,327 fois par rapport à la 5ᵉ ; c'est la raison pour laquelle elle creusait sa petite ornière dans le sol lors de départs au sprint. A l'opposé, sur la Norton Manx, la première réduisait d'à peine 1,777 fois la 4ᵉ.

Bien qu'avec des vitesses maximales similaires, en première la Tornado faisait du 54 km/h, alors que la Manx dépassait les 100 km/h. En 1982, la Bimota KB 1 de route atteignait en première 80 km/h, avec une boîte et un moteur de série, et plus de 150 km/h avec un moteur boosté et une boîte Moriwaki.

FORMULE

Et si maintenant on calculait la vitesse à n'importe quel régime et à n'importe quelle vitesse ? Toutefois, il vaut mieux connaître la "formule magique", soit :

$$V(\text{en km/h}) = \frac{\text{Tours x développement de la roue x 0,06}}{\text{Rapport de démultiplication}}$$

Exemple : la 250 Aermacchi Ala Verde, mentionnée ci-dessus, se déplace en 3ᵉ à 5 200 tr/mn. A quelle vitesse roule-t-elle ?

$$V = \frac{5\,200 \times 1{,}82 \times 0{,}06}{2{,}5 \times 10278 \times 2{,}111} = 84{,}19 \text{ km/h}$$

Bon d'accord, on va simplifier la formule. Avec l'Ala Verde, on constate que la vitesse, en 4ᵉ, est égale aux tours multipliés par 2,069. On obtient cette valeur en multipliant par 0,06 le développement de la roue, et en divisant par la démultiplication totale en 4ᵉ.

Avec la 350 MV Agusta Sport, on obtient : vitesse (en 5ᵉ) = tours multipliés par 1,998. Avec la Guzzi Dondolino Faenza, et son très long rapport, la vitesse en 4ᵉ est égale aux tours multipliés par 3,28 et ainsi de suite.

RÈGLES PRATIQUES

Les différents engrenages reliés entre eux ne devraient pas avoir un nombre de dents "multiple", par exemple de 18/36, pour répartir l'usure. Mais cette règle n'est pas toujours observée.

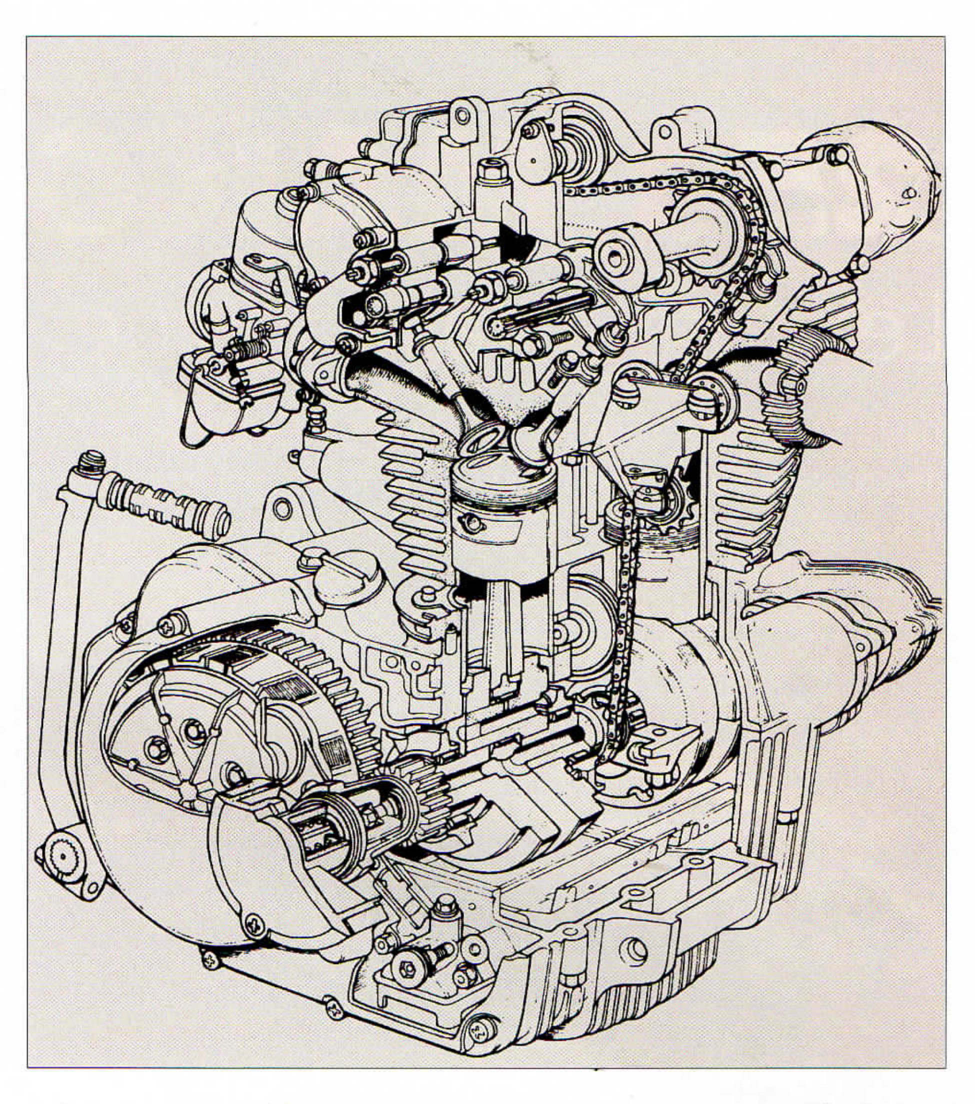
Il est rare qu'avec un rapport plus long, les motos tirent plus et consomment moins. Bien au contraire, parfois il faut même raccourcir le rapport de série.

Les carénages, bas et enveloppants, servent seulement au-delà d'une certaine vitesse, et parfois permettent d'allonger légèrement le rapport.

Sur quelques "bombes" routières, certains préparateurs montent des boîtes spéciales avec une dernière vitesse plus courte que celle de série.

Avant d'effectuer les calculs de vitesse avec compte-tours, roue et rapport total, il vaut mieux commencer par le bon vieux système : pousser la moto, sans bougie, et avec la dernière vitesse enclenchée, tout en comptant le nombre de tours de la roue et du vilebrequin.

Le court rapport de transmission primaire de la 450 Honda à barre de torsion. De cette façon, la boîte de vitesses tourne doucement et favorise l'embrayage et le débrayage, bien que sollicitée par des couples plus importants.



EXEMPLES THÉORIQUE ET PRATIQUE

Exemple théorique : 10 tours de roue pour 57,5 tours de moteur en 5e signifie un rapport total de 5,75 à 1.

Exemple pratique : le 16/07/1993, un préparateur a une Suzuki de 1100 cm³ modifiée, réalésée à 1 298 cm³ (alésage x course : 83 x 60), tandis que la boîte de vitesses est une spéciale de course. La couronne et le pignon furent conservés, soit 15 et 38 dents. Le rapport total calculé est de 4,65 à 1 pour un pneumatique de 1 920 mm.

Mais, le propriétaire se plaint d'une vitesse maximale insuffisante, soit environ 247 km/h, et que sa moto part *en wheeling* même en troisième ! En fait, il suffit d'allonger le rapport final à 3,916, avec une couronne plus petite de 6 dents, pour que tout s'arrange. La Suzuki atteint alors 290 km/h et le propriétaire peut maintenant rouler en toute sécurité en passant les rapports.

VITESSES ABSURDES

Pourtant, il faut savoir que tous ces calculs, bien que très précis, peuvent déboucher sur des vitesses absurdes.

En voici un exemple : en 1965, j'ai chronométré une 250 Aermacchi Ala Verde, en parfait état de marche, à 130,7 km/h. Son compte-tours Smiths, tout neuf, indiquait 7 100 tr/mn en 5e. Le calcul des tours, rapports et pneumatique moteur, donnait donc 146,9 km/h, soit 12,4 % de plus que les chronomètres.

Cette différence peut principalement être attribuée au compte-tours, sinon aux pneumatiques déformés par une mauvaise pression de gonflage, etc.

Avec des compte-tours encore plus anciens, la différence peut être encore plus grande, jusqu'à 20 % au-dessus de la réalité. C'est le cas notamment pour de nombreuses anciennes motos de course, réalisant 150-160 km/h effectif au lieu de 190-200 km/h "calculés".

Les instruments mécaniques sont normalement plus précis que les instruments magnétoélectriques, mais ce n'est pas toujours vrai. Toutefois, le seul système sûr pour mesurer une vitesse "réelle" reste l'utilisation de deux chronomètres. Un système pas franchement très répandu ! Ceux-ci "s'accordent" avec un kilomètre mesurant vraiment 1 000 mètres. Eh oui, il y a des kilomètres plus courts et d'autres plus longs. Vous ne vous en êtes pas aperçus en roulant à plusieurs avec des motos différentes ?